

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

SVERIGE

(12) **PATENTSKRIFT**(13) **C2**(11) **517 440**

(19) SE

(51) Internationell klass 7
H01L 29/93
**PATENT- OCH
REGISTRERINGSVERKET**

(45) Patent meddelat 2002-06-04
 (41) Ansökan allmänt tillgänglig 2001-12-21
 (22) Patentansökan inkom 2000-06-20
 (24) Löpdag 2000-06-20
 (62) Stamansökans nummer
 (86) Internationell ingivningsdag
 (86) Ingivningsdag för ansökan om europeisk patent
 (83) Deposition av mikroorganism

(21) Patentansöknings-
nummer **0002296-2**

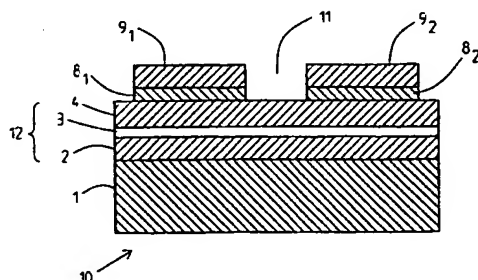
Ansökan inkommen som:

☒ svensk patentansökan
 fullföljd internationell patentansökan
 med nummer
☐ omvandlad europeisk patentansökan
 med nummer

(30) Prioritetsuppgifter

- (73) **PATENTHAVARE** Telefonaktiebolaget L M Ericsson (publ),
126 25 Stockholm SE
 (72) **UPPFINNARE** Spartak Gevorgian, Göteborg SE, Zdravko Ivanov, Göteborg
SE, Peter Petrov, Göteborg SE, Erland Wikborg, Danderyd SE
 (74) **OMBUD** Cegumark AB
 (54) **BENÄMNING** Elektriskt avstämbar anordning och ett förfarande
relaterande därtill
 (56) **ANFÖRDA PUBLIKATIONER:** - - -
 (57) **SAMMANDRAG:**

Föreliggande uppfinning relaterar till en ferroelektrisk tunnfilms-varaktor-anordning (10) som består av ett substratlager (1), en ferroelektrisk lagerstruktur (12) och en elektrodstruktur (9₁, 9₂). Den ferroelektriska lagerstrukturen (12) består av ett antal ferroelektriska lager (2, 4) och ett antal mellanliggande buffertlager (3) som är anordnade på ett alternerande sätt. Ätminstone ett första (2) och ett andra (4) lager av sagda ferroelektriska lager har olika Curie-temperaturer, dvs den dielektriska konstanten för det första ferroelektriska lagret (12) har ett maximum vid en temperatur som skiljer sig ifrån den temperatur vid vilken den dielektriska konstanten för det andra ferroelektriska lagret (4) har ett maximum.



PRV Patent använder följande dokumentkoder för sina patentskrifter

kod	klartext	kod	klartext
A	allmänt tillgänglig patentansökan	L	allmänt tillgänglig
B	utläggningsskrift *	T1	översättning av kraven i europeisk patentansökan
B5	rättad utläggningsskrift *	T2	rättelse av översättning av kraven i europeisk patentansökan
C	patentskrift *	T3	översättning av europeisk patentskrift
C1	patentskrift *	T4	översättning av europeisk patentskrift i ändrad avfattning
C2	patentskrift	T5	rättad översättning av europeisk patentskrift
C3	rättad patentskrift	T8	rättad översättning av europeisk patentskrift
C5	rättad patentskrift *	T9	korrigerad översättning av europeisk patentskrift
C8	korrigerad förstasida till patentskrift		
E	patentskrift i ändrad lydelse		
E8	korrigerad förstasida till patentskrift i ändrad lydelse		
E9	rättad patentskrift i ändrad lydelse		

* publicerad under äldre lagstiftning

Nationskoder

AP African Regional Industrial Property Organization (ARIPO)	CN Kina	KJ Kiribati	RU Ryska Federationen
EA Euroasian Patent Office (EAPO)	CO Colombia	KM Comorena	RW Ruanda
EP Europeiska Patentverket (EPO)	CR Costa Rica	KN St Kitts	SA Saudi-Arabien
OA African Intellectual Property Organization (OAPI)	CU Kuba	KP Dem. Folkrepubliken Korea	SB Salomonöarna
WO World Intellectual Property Organization (WIPO)	CV Kap Verde	KR Republiken Korea	SC Seychellerna
IB WIPO (i vissa fall)	CY Cypern	KW Kuwait	SD Sudan
AD Andorra	CZ Tjeckiska republiken	KY Cayman-öarna	SE Sverige
AE Förenade Arabemiraten	DE Tyskland	KZ Kazachstan	SG Singapore
AF Afghanistan	DJ Djibouti	LA Laos	SH St Helena
AG Antigua	DK Danmark	LB Libanon	SI Slovenien
AI Anguilla	DM Dominica	LC Saint Lucia	SK Slovakien
AL Albanien	DO Dominikanska republiken	LI Liechtenstein	SL Sierra Leone
AM Armenien	DZ Algeriet	LK Sri Lanka	SM San Marino
AN Nederländska Antillerna	EC Ecuador	LR Liberia	SN Senegal
AO Angola	EE Estland	LS Lesotho	SO Somalia
AR Argentina	EG Egypten	LT Litauen	SR Surinam
AT Österrike	ES Spanien	LU Luxembourg	ST São Thomé
AU Australien	ET Etiopien	LV Lettland	SV El Salvador
AZ Azerbajdzjan	FI Finland	LY Libyen	SY Syrien
BA Bosnien och Hercegovina	FJ Fiji-öarna	MA Marocko	SZ Swaziland
BB Barbados	FK Falklandsöarna	MC Monaco	TD Tchad
BD Bangladesh	FR Frankrike	MD Moldavien	TG Togo
BE Belgien	GA Gabon	MG Madagaskar	TH Thailand
BF Burkina Faso	GB Storbritannien	MK Makedonien	TJ Tadzjikistan
BG Bulgarien	GD Grenada	ML Mali	TM Turkmenistan
BH Bahrain	GE Georgien	MM Myanmar	TN Tunisien
BI Burundi	GH Ghana	MN Mongoliet	TO Tonga
BJ Benin	GI Gibraltar	MR Mauretanien	TR Turkiet
BM Bermuda	GM Gambia	MS Monsterrat	TT Trinidad och Tobago
BO Bolivia	GN Guinea	MT Malta	TV Tuvalu
BR Brasilien	GQ Ekvatorial Guinea	MU Mauritius	TW Taiwan
BS Bahamaöarna	GR Grekland	MV Maldiverna	TZ Tanzania
BT Bhutan	GT Guatemala	MW Malawi	UA Ukraina
BW Botswana	GW Guinea-Bissau	MX Mexiko	UG Uganda
BY Vitrysland	GY Guyana	MY Malaysia	US Förenta Staterna (USA)
BZ Belize	HK Hongkong	MZ Mocambique	UY Uruguay
CA Kanada	HN Honduras	NA Namibia	UZ Uzbekistan
CF Centralafrikanska Republiken	HR Kroatien	NG Nigeria	VA Vatikanstaten
CG Kongo	HT Haiti	NI Nicaragua	VC St Vincent
CH Schweiz	HU Ungern	NL Nederländerna	VE Venezuela
CI Elfenbenskusten	ID Indonesien	NO Norge	VG Jungfruöarna
CL Chile	IE Irland	NP Nepal	VN Viet Nam
CM Kamerun	IL Israel	NR Nauru	VU Vanuatu
	IN Indien	NZ Nya Zeeland	WS Samoa
	IQ Irak	OM Oman	YD Syd-Jemen
	IR Iran	PA Panama	YE Jemen
	IS Island	PE Peru	YU Jugoslavien
	IT Italien	PG Papua Nya Guinea	ZA Sydafrika
	JM Jamaica	PH Filippinerna	ZM Zambia
	JO Jordanien	PK Pakistan	ZR Zaire
	JP Japan	PL Polen	ZW Zimbabwe
	KE Kenya	PT Portugal	
	KG Kirgistan	PY Paraguay	
	KH Kambodja	RO Rumänien	

5

UPPFINNINGENS OMRÅDE

Föreliggande uppfinning relaterar till det tekniska området elektriskt avstämbara anordningar, exempelvis för
10 mikrovågs(radiofrekvens)-kretsar. Speciellt relaterar den till den till en tunnfilms ferroelektrisk varaktoranordning, användning av en sådan användning i mikrovågs(eller millimetervågs)-kretsar, och till ett förfarande för att framställa en sådan anordning.

15 TEKNIKENS STÅNDPUNKT

Den senaste tiden har åtskilliga avstämbara anordningar avsedda för användning i mikrovågs-, och millimetervågsanordningar föreslagits. En varaktor är en variabel kapacitansanordning vars kapacitans beror på den spänning som appliceras. Varaktorer kända
20 för att användas i RF-avstämningstillämpningar, bland annat beroende på det faktum att kapacitansvariationer hos varaktorn orsakade av en applicerad spänning får motsvarande effekter på frekvensavstämningen.

25 Varaktorer baserade på halvledare är kända. Emellertid är sådana anordningar ofördelaktiga i många avseenden. T ex är de behäftade med den nackdelen att de har en låg avstämbarhet (begränsad dynamisk räckvidd) vid mikrovågsfrekvenser, dvs över 10-20 GHz, och mikrovågslusterna är också stora. Beroende på de inherent
30 egenskaperna hos halvledarmaterial är sådana varaktorer känsliga för överhettning och utbränning om de förspännes framåt eller förspännes bakåt med en alltför stor applicerad spänning. Halvledande PN-övergångsanordningar har ett utarmningsområde som

utsätts för en hög elektrisk fältpåkänning, och som en följd därav kan sådana anordningar kollapsa när den pålagda spänningen varierar. Dessutom har halvledarmaterial olika dielektriska konstanter, mellan ca 10-15, dvs låga dielektriska konstanter som begränsar kapacitansen, och detta är mycket ofördelaktigt för ett flertal tillämpningar.

Mikroelektromekaniska varaktorer är också kända. I motsats till halvledarvaraktorer har de ett stort dynamiskt område, eller en hög avstämbarhet, och låga mikrovågsförluster, men avstämningshastigheten är begränsad till tiondelar av mikrosekunder. Därutöver är de känsliga för mekaniska vibrationer, har en kort livstid, och de är inte heller tillförlitliga.

Varaktorer baserade på ferroelektriska material eller icke-linjära dielektrika är också kända, exempelvis genom US-A-5,472,935. Den huvudsakliga nackdelen med de varaktorer som visas i ovan nämnda dokument, vilket också gäller för andra avstämbara mikrovågsanordningar baserade på (bulk) ferroelektrika, är att parametrarna är extremt temperaturberoende, vilket relateras till det inherenta temperaturberoendet hos ferroelektriska material. Detta illustreras i Fig. 1A, Fig. 1B, som visar det extrema temperaturberoendet nära maximum för den dielektriska konstanten för typiska ferroelektriska material, såsom Bariumtitanat (BaTiO_3 , BTO) och Strontiumtitanat (SrTiO_3 , STO). Beroendet hos den dielektriska konstanten på applicerat elektriskt DC-fält (avstämbarheten) är också starkare ju närmare man kommer maximum i dielektrisk konstant, emedan längre bort ifrån maximum i dielektrisk konstant blir avstämbarheten låg. T ex är STO ej avstämbart vid rumstemperatur vid förhållandevis lågt applicerat elektriskt fält ($E < 100 \text{ kV/cm}$). Detta betyder att kondensatorer som är baserade på STO inte är avstämbara vid omkring rumstemperatur (dvs de är i själva verket inte några varaktorer). Detta betyder

att en hög temperaturstabilitet endast kan uppnås i kombination med en låg avstämbarhet.

5 Därutöver bildas ett övergångslager i ytan av det ferroelektriska materialet, i gränsen mellan metallelektroderna, t ex av guld, och det ferroelektriska materialet i varaktorn. Det inre elektriska fältet i detta lager kommer att reducera den dielektriska konstanten hos det ferroelektriska materialet, och som en följd därav kommer det också att reducera känsligheten för applicerade
10 externa DC-fält. Med andra ord reduceras varaktorns avstämbarhet.

Ferroelektriska varaktorer baserade på bulkmaterial är bland annat behäftade med den nackdelen att tjockleken på sådana anordningar begränsar den totala kapacitiva effekten.

15

Det har befunnits vara fördelaktigt att använda tunna ferroelektriska filmer för framställning av avstämbara kondensatorer, eftersom den dielektriska konstanten hos ferroelektriska filmer blir avstämbar genom variation av den
20 spänning som appliceras på filmen. Vid höga frekvenser uppvisar sådana filmer intrinsiskt jämförelsevis låga förluster.

US-A-5 640 042 visar en enkel ferroelektrisk varaktor som innefattar ett antal tunna filmskikt. Ett bärarsubstratsskikt är
25 anordnat på vilket ett metalliskt, ledande lager är deponerat. Tunnfilmsferroelektrikat är sin tur deponerat på det metalliska, ledande lagret, och ett flertal longitudinellt åtskilda metalliska ledande medel är anordnade på tunnfilmsferroelektrikat. Bärarsubstratskiktet, det metalliska ledande skiktet och det
30 ferroelektriska tunnfilmsskiktet kan ha matchande gitter så att de bildar en matchad kristallstruktur. Även om högre kapacitansvärden än för exempelvis halvledarvaraktorer kan erhållas, som resulterar i en högre avstämbarhet, kommer sådana

anordningar inte att fungera tillfredsställande för ett flertal implementeringar, t ex beroende på att temperaturstabiliteten inte är tillräckligt bra, och den omfattning i vilken en sådan anordning kan avstännas, inte blir tillräcklig.

5

REDOGÖRELSE FÖR UPPFINNINGEN

Vad som behövs är därför en förbättrad varaktoranordning. Mera speciellt behövs en varaktoranordning som har en stor dynamisk räckvidd (ett stort avstämbarhetsområde), och som på samma gång är
10 mycket temperaturoberoende, dvs som uppvisar en hög grad av temperaturstabilitet. Speciellt behövs en ferroelektrisk varaktoranordning som är tillförlitlig, har en lång livstid, och som inte är känslig för mekaniska spänningar eller vibrationer eller liknande. Dessutom behövs en varaktoranordning som har en
15 hög avstämningshastighet. Avstämningshastigheten kan definieras som dC/dt , dvs tids-(t)derivatan av kapacitansen (C), och den visar hur snabbt kapacitansen kan avstännas. Dessutom behövs en ferroelektrisk varaktoranordning som är lätt att framställa, och som dessutom inte är dyr att framställa. Dessutom behövs en
20 varaktoranordning som lämpar sig för ett stort antal tillämpningar, speciellt för mikrovågs- eller millimetervågstillämpningar, eller ännu mera speciellt för mikrovågsradiofrekvens-applikationer. Speciellt behövs en varaktoranordning som har en hög avstämbarhet (stor dynamisk
25 räckvidd), och som är temperaturoberoende i ett givet temperaturintervall.

Ett förfarande för att producera en sådan varaktoranordning, som uppfyller ett eller flera av de ovan nämnda målen, behövs också,
30 där sagda förfarande speciellt är lätt att implementera. Ett förfarande för att driva en avstämbar ferroelektrisk varaktoranordning såsom ovan hänvisats till behövs också.

Därför tillhandahålles en tunnfilms-ferroelektrisk varaktoranordning som innefattar ett substratlager, en ferroelektrisk lagerstruktur och en elektrodstruktur, där den ferroelektriska lagerstrukturen innefattar ett antal
5 ferroelektriska lager och ett antal mellanliggande buffertlager anordnade på ett alternerande sätt. Åtminstone ett första och ett andra av sagda ferroelektriska lager, mellan vilka ett mellanliggande buffertlager, som kan vara dielektriskt, är anordnat, har olika Curie-temperaturer. Curie-temperaturen är
10 speciellt definierad som en temperatur som kännetecknar temperaturberoendet hos den dielektriska konstanten. Specifikt är det en temperatur för vilken den dielektriska konstanten har ett maximum. Enligt uppfinningen åtstadkommes olika Curie-temperaturer för de respektive ferroelektriska lagren genom att man ger de
15 ferroelektriska lagren olika kemisk sammansättning, eller genom att kemiskt isolera de ferroelektriska lagren ifrån varandra så att olika Curie-temperaturer erhålles. Innehållet i åtminstone ett element i elementsammansättningen av respektive lager är olika i de åtminstone två lagren. (Speciellt kan innehållet av ett element
20 vara noll i ett av lagren.)

Fördelaktigt har åtminstone några av lagren i varaktoranordningen gittermatchade kristallstrukturer. Ännu mera speciellt har alla lager, dvs de lager som ingår i den ferroelektriska
25 lagerstrukturen, elektrodstrukturen, och substratlagret, gittermatchade kristallstrukturer.

I en föredragen implementering består lagren, speciellt de mellanliggande buffertlagren och de ferroelektriska lagren och
30 substratlagret, av enkristallina filmer (epitaxiella filmer).

I en föredragen implementering innefattar de ferroelektriska lagren ett keramiskt material. Speciellt föreligger åtminstone ett

element eller en komponent av det keramiska materialet i olika mängd för ett antal lager, eller speciellt för alla lager, så att åtminstone näraliggande ferroelektriska lager, där näraliggande skall avse ferroelektriska lager mellan vilka ett mellanliggande buffertlager, speciellt ett dielektriskt buffertlager, är anordnat, innehåller olika fraktioner av sagda element.

I en fördelaktig implementering består de keramiska materialen av perovskitska oxider eller fasta lösningar därav, $ABCO_3$, där A exempelvis är endera av Ba, Na; B är endera av t ex Sr, Kr; C är endera av Tc, Nb osv. I en speciell implementering innefattar de ferroelektriska lagren $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$. Åtminstone för ovan nämnda första och andra lager är barium (Ba)-innehållet olika, således är för ett första och ett andra lager elementsammansättningen $Ba_{x1}Sr_{1-x1}TiO_3$ respektive $Ba_{x2}Sr_{1-x2}TiO_3$, vilket resulterar i olika Curie-temperaturer. Givetvis kan det finnas fler än två lager som har olika xi-värden, speciellt olika bariuminnehåll. Speciellt är för varje ferroelektriskt lager i, $0 \leq x_i \leq 1$.

I en alternativ implementering innehåller de åtminstone två lagren $Na_{xi}K_{1-xi}NbO_3$, där xi är olika för åtminstone två "näraliggande" ferroelektriska lager. I en speciellt fördelaktig implementering består de mellanliggande buffertlagren av dielektriska filmer. De dielektriska filmerna mellan olika ferroelektriska lager kan ha samma elementsammansättning eller olika elementsammansättningar.

I en speciell implementering har åtminstone en av de dielektriska filmerna en elementsammansättning som är MgO , $LaAlO_3$, CeO_2 eller ett material med liknande egenskaper. Om den ferroelektriska strukturen är sådan att det finns fler än ett mellanliggande buffertlager, om det t ex finns fler än två ferroelektriska lager som kräver ett mellanliggande buffertlager därmellan, eller om ett mellanliggande lager också är anordnat mellan ett ferroelektriskt

lager och substratlagret, kan varje dielektriskt buffertlager ha samma elementsammansättning, med det behöver inte vara så. I en speciellt fördelaktig implementering har åtminstone ett av de dielektriska mellanliggande buffertlagren en elementsammansättning bestående av WO_3 .

Enligt olika implementeringar har ett dielektriskt lager elementsammansättningen WO_3 , medan ett eller flera andra lager består av MgO eller liknande; alternativt består alla lager av WO_3 . I återigen en annan implementering innefattar åtminstone ett av de mellanliggande buffertlagren en flerlagerstruktur som innefattar ett antal dellager, där åtminstone ett av sagda dellager har en elementsammansättning bestående av MgO eller liknande, såsom hänvisats till ovan, och åtminstone ett av dellagren har en elementsammansättning WO_3 . Substratlagret kan bestå av elementsammansättningen MgO , $LaAlO_3$, eller ett material med liknande egenskaper, medan elektrodstrukturen kan bestå av longitudinellt anordnade elektroder som definierar ett gap däremellan. Elektroderna kan exempelvis bestå av guld (Au), koppar (Cu), silver (Ag) eller liknande, men de kan också bestå av supraledare, eller speciellt högtemperatursupraledare, av YBCO ($YBaCuO$) eller TBCCO ($TlBaCaCuO$).

I en fördelaktig implementering har de ferroelektriska lagren en tjocklek som är mindre än, eller lika med, $1\mu m$. De mellanliggande buffertlagren, som speciellt är dielektriska, kan ha en tjocklek på $100nm$ eller mindre. De kan också vara något tjockare om de består av en kombination av WO_3 och MgO (också då kan de emellertid vara så tunna som refererats till ovan), eller liknande, eller om de består av en flerlagerstruktur. I en annan implementering innefattar den ferroelektriska lagerstrukturen en ferroelektrisk nanostruktur med ultratunna ferroelektriska lager som har en tjocklek som väsentligen är mindre än eller lika med

100nm. Ett buffertlager kan vara anordnat intill elektrodstrukturen, dvs mellan elektroderna och ett ferroelektriskt lager eller ett mellanliggande buffertlager (ett dielektriskt lager). Ett sådant buffertlager kan exempelvis bestå
5 av tunna metalliska Mg-filmer.

Den ferroelektriska anordningen kan speciellt innefatta en ferroelektrisk lagerstruktur som innefattar tre eller flera ferroelektriska lager, där emellan varje par av ferroelektriska
10 lager ett företrädesvis dielektriskt, mellanliggande buffertlager är anordnat. Ett mellanliggande buffertlager kan också vara anordnat mellan substratlagret och det ferroelektriska lagret som skall deponeras på substratlagret.

15 Speciellt kan temperaturberoendet hos kapacitansen för varaktorn styras genom val av Curie-temperaturerna/xi-värdena i elementsammansättningarna av respektive ferroelektriska lager, dvs innehållet av åtminstone ett element i elementsammansättningen.

20 En tunnfilms ferroelektrisk varaktoranordning som innefattar ett substratlager, en ferroelektrisk lagerstruktur och en elektrodstruktur tillhandahålles, där den ferroelektriska lagerstrukturen innefattar ett antal ferroelektriska lager och ett antal mellanliggande buffertlager, som företrädesvis är
25 dielektriska, där de ferroelektriska lagren och de dielektriska lagren är anordnade på ett alternerande sätt, så att de ferroelektriska lagren, mellan vilka ett mellanliggande buffertlager är anordnat, blir kemiskt separerade ifrån varandra. Åtminstone några av de ferroelektriska lagren har olika
30 elementsammansättning. Speciellt innefattar de ferroelektriska lagren keramiska material, såsom perovskitska oxider eller fasta lösningar av typen $A_{x_1}B_{1-x_1}CO_3$, där x_1 är olika för åtminstone några på varandra följande ferroelektriska lager mellan vilka ett

- mellanliggande buffertlager är anordnat. Speciellt är för varje lager i $0 \leq x_i \leq 1$. Speciellt består de ferroelektriska lagren i, där i, \dots, N ; där N är antalet ferroelektriska lager i strukturen, av $\text{Ba}_{x_i}\text{Sr}_{1-x_i}\text{TiO}_3$ eller $\text{Na}_{x_i}\text{K}_{1-x_i}\text{NbO}_3$. Speciellt har alla lager i
- 5 varaktoranordningen matchande kristallstrukturer, och Curie-temperaturerna för respektive ferroelektriska lager är olika, där de respektive Curie-temperaturerna ges av valet av varje x_i , och där valet är gjort på ett sådant sätt att man ska säkerställa att maximumvärdena för de dielektriska konstanterna i respektive lager
- 10 blir olika. Speciellt kan temperaturberoendet hos varaktorns kapacitans styras. Speciellt är Ba-innehållet/Na-innehållet olika för varje respektive lager (vilket får som en följd att också Sr/K-innehållet blir olika).
- 15 Enligt uppfinningen kan varaktoranordningarna som diskuterats ovan med fördel användas i mikrovågs-(radiofrekvens)kretsar, såsom avstämbara resonatorer, filter, fasskiftare, fördröjningsledare, blandare, harmoniska generatorer eller liknande.
- 20 Ett förfarande för att framställa en ferroelektrisk tunnfilmsvaraktoranordning innefattande en substratlagerstruktur, en ferroelektrisk lagerstruktur och en elektrodstruktur anges också, som inkluderar stegen att; anordna en ferroelektrisk lagerstruktur på substratlagerstrukturen, inkluderande stegen att;
- 25 anordna ett mellanliggande, företrädesvis dielektriskt, buffertlager mellan vardera av ett antal ferroelektriska lager; för åtminstone två ferroelektriska lager ($i; i+1$), välja olika innehåll ($x_i, x(i+1)$) av en första komponent i elementsammansättningarna för lagren; välja innehållen
- 30 ($x_i, x(i+1)$), så att de dielektriska konstanterna för olika lager får olika Curie-temperaturer. Varaktorn kan då få arbeta mellan Curie-temperaturerna för de två ferroelektriska lagren.

KORTFATTAD FIGURBESKRIVNING

Uppfinningen kommer i det följande att ytterligare beskrivas på ett icke begränsande sätt, och under hänvisning till bifogade figurer, i vilka:

5 Fig. 1A är en kurva som visar temperaturberoendet hos BTO,

Fig. 1B är en kurva som visar temperaturberoendet hos STO,

10 Fig. 2 är en tvärsnittsvy av en varaktoranordning enligt ett första utförande av föreliggande uppfinning,

15 Fig. 3 är en kurva som illustrerar hur en väsentligen temperaturoberoende kapacitans kan erhållas genom att styra Ba-innehållet för två ferroelektriska lager bestående av BSTO,

20 Fig. 4 är en kurva som illustrerar den experimentella verifikationen av temperaturberoendet hos kapacitansen C och en kvalitetsfaktor Q för en uppfinningsmässig varaktor,

25 Fig. 5 är en vy i tvärsnitt av en varaktoranordning enligt ett andra utförande av föreliggande uppfinning liknande den i Fig. 2, men där ett ytterligare mellanliggande buffertlager är anordnat mellan substratlagret och ett ferroelektriskt lager,

30 Fig. 6 är en tvärsnittsvy av en varaktoranordning, enligt ett tredje utförande av föreliggande uppfinning, som innefattar tre ferroelektriska lager och tre dielektriska lager, där ett av de dielektriska lagren

har en kemisk sammansättning som skiljer sig ifrån den hos de två övriga,

5 Fig. 7 är en tvärsnittsvy av ett fjärde utförande av en varaktor enligt föreliggande uppfinning, där ett av de mellanliggande buffertlagren består av en flerlagerstruktur,

10 Fig. 8A är en tvärsnittsvy av ett en-pols avstämbart bandpassfilter med en "flip-chip" ansluten varaktor enligt uppfinningen,

Fig. 8B är en vy ovanifrån av filtret i Fig. 8A, och

15 Fig. 9 schematiskt illustrerar en tillämpning av ett avstämbart en-pols bandpassfilter med en varaktor som är ansluten med en bondningsledare ("bond-wire") enligt föreliggande uppfinning.

20 DETALJERAD BESKRIVNING AV UPPFINNINGEN

Figurerna 1A respektive 1B visar de extrema temperaturberoendena nära maximum i dielektrisk konstant för strontiumtitanat (SrTiO_3 ; STO) (Fig. 1B) och baryumtitanat (BaTiO_3 ; BTO) (Fig. 1A). Den dielektriska konstanten visar ett beroende på applicerat DC-fält som är starkare nära maximum i dielektrisk konstant, emedan det 25 minskar längre bort ifrån maximum i dielektrisk konstant. Detta betyder att avstämbarheten skulle bli hög där den dielektriska konstanten har ett maximum, medan längre bort ifrån maximum, skulle avstämbarheten bli låg. Såsom hänvisats till tidigare är 30 STO inte avstämbart vid rumstemperatur vid förhållandevis låga applicerade dielektriska fält. Fig. 1B illustrerar beroendet hos dielektrisk konstant (inversen på den dielektriska konstanten) på temperaturen ovanför Curie-temperaturen T_{CR} , dvs $T > T_{\text{CR}}$. Detta

beroende anges av Curie-Weiss lag; $\epsilon = 78.300/(T-T_{CR})$. För $SrTiO_3$ är $T_{CR} = 28 \text{ }^\circ K$. För $T_{CR}=381K$.

5 Curietemperaturen definieras som en temperatur som kännetecknar temperaturberoendet hos den dielektriska konstanten. (Fig. 1B visar $\epsilon = 78.300/(T-T_{CR})$, där $T_{CR} = 28K$, för STO.) T_{CR} , eller snarare den temperatur där den dielektriska konstanten har sitt maximum, kan styras av trycket i ett begränsat temperturområde.

10 Det mest effektiva sättet att stämma av T_{CR} i ett brett temperaturområde utförs enligt uppfinningen genom att förändra innehållet i en komponent i ett material som innehåller en kemisk sammansättning såsom $ABCO_3$, dvs innehållet av Ba, Na eller något annat lämpligt material.

15 Enligt uppfinningen visas ferroelektriska varaktorer som har en hög avstämbarhet eller ett högt dynamiskt område, vilket betyder ett stort avstämningssområde. Avstämbarheten definieras som $T(V) = [C(0)-C(V)] / C(0)$, där V är den spänning som appliceras på varaktorns DC-fält, $C(0)$ är varaktorns kapacitans vid $V=0$, medan $C(V)$ är varaktorns kapacitans vid $V=V_{max}$, som är den maximala pålagda spänningen.

20 Varaktorerna enligt uppfinningen visar en hög avstämbarhet och är väsentligen temperaturoberoende i ett givet temperaturområde (mellan Curie-temperaturerna för de dielektriska konstanterna i respektive ferroelektriska lager).

30 I Fig. 2 visas en varaktoranordning 10 enligt ett första utförande. Den innefattar ett substratlager 1 som innehåller ett kristallint dielektrikum, med låga mikrovågsluster exempelvis av MgO , $LaAlO_3$ eller ett liknande material, dvs ett material med liknande egenskaper. På substratlagret 1 deponeras den

ferroelektriska lagerstrukturen 12, som här innefattar ett första ferroelektriskt lager 2, ett mellanliggande buffertlager 3, som företrädesvis är dielektriskt, och ett andra ferroelektriskt lager 4.

5

Det första ferroelektriska lagret 2 är deponerat på substratlager 1. De ferroelektriska lagren 2, 4 innefattar keramiska material, t ex oxider av perovskittyp eller en lösning därav, av typ $A_xB_{1-x}CO_3$, där $A = Ba, Na$ osv, $B = Sr, K$ osv, $C = Ti, Nb$ eller liknande. Vilket sådant material som helst kan i princip användas så länge som mikrovågsförlusterna är låga. I speciella utföranden innefattar de keramiska materialen $Ba_{x_i}Sr_{1-x_i}TiO_3$ eller $Na_{x_i}K_{1-x_i}NbO_3$, där x_i är valt att vara olika för de respektive lagren 2, 4 så att olika Curie-temperaturer erhålles. x_i är sådant att $0 \leq x_i \leq 1$.

1. Detta betyder speciellt att för $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$ kommer två extremfall att uppträda, nämligen när $x_i = 0$ kommer det att vara $SrTiO_3$, medan för $x = 1$ kommer det att bli $BaTiO_3$. I fallet av $Na_{x_i}K_{1-x_i}NbO_3$ kommer det också att bli två extremfall, nämligen för $x_i = 0$, kommer det att bli $KNbO_3$ medan för $x = 1$, kommer det att bli $NaNbO_3$. I allmänhet kan x_i vara vilket värde som helst mellan 0 och 1, inkluderande 0 och 1.

I detta utförande antas att det första ferroelektriska lagret 2 består av $Ba_{x_i}Sr_{1-x_i}TiO_3$, där x_i är ett valt värde x_1 , och detta lager är deponerat på substratlager 1. Ett dielektriskt filmlager 3, t ex av MgO , $LaAlO_3$, CeO_2 eller liknande är deponerat på det ferroelektriska lagret. På det dielektriska lagret 3 är ett andra ferroelektriskt lager 4 deponerat, vilket innefattar en annan ferroelektrisk film, exempelvis $Ba_{x_2}Sr_{1-x_2}TiO_3$, där x_2 valts att ha ett värde som skiljer sig ifrån värdet för x_1 . Substratlager 1 och lagren i den ferroelektriska strukturen, dvs lagren 2, 3, 4, har matchande kristallstrukturer, bland annat för att förhindra mekaniska spänningar i filmerna. Matchande

30

5 kristallstrukturer avser här att de två angränsande kristallerna (substrat-ferroelektriskt lager, ferroelektriskt lager-dielektriskt lager, eller substrat-dielektriskt lager) ska ha kristallina strukturer och gitterkonstanter som är så nära varandra som möjligt.

10 I varaktoranordningen 10 i Fig. 2 styrs Curie-värdena för de ferroelektriska Barium-Strontium-Titanate (BSTO)-filmerna genom Bariuminnehållet, dvs av xi-faktorerna x_1 och x_2 såsom diskuterats ovan. De två ferroelektriska lagren med olika Bariuminnehåll isoleras kemiskt ifrån varandra genom närvaron av det dielektriska lagret 3. I en synnerligen fördelaktig implementering (relevant för utförandet i Fig. 2 och alla andra utföranden som kommer att beskrivas nedan), är alla lager
15 epitaxiella, dvs enkristallina för att säkerställa en hög dielektrisk konstant, en hög avstämbarhet och låga mikrovågsförluster. Det mellanliggande buffertlagret 3, som företrädesvis är en dielektrisk film, används speciellt för att säkerställa en kemisk isolering mellan de två BSTO-filmerna med
20 olika xi-värden, dvs för att förhindra bildandet av en ny fas av BSTO med ett x-värde mellan x_1 och x_2 , och härav med ett annorlunda Curie-värde (maximum i dielektrisk konstant), jämför de två topparna i dielektrisk konstant för x_1 respektive x_2 såsom i Fig. 3. Med andra ord är avsikten med det dielektriska
25 filmlagret 3 att säkerställa distinkt olika egenskaper och belägenheter för (temperatur)-topparna i dielektrisk konstant för det första ferroelektriska lagret 2 och det andra ferroelektriska lagret 4. Företrädesvis, såsom hänvisats till ovan, ligger xi-värdena mellan 0 och 1. Det mellanliggande buffertlagret 3
30 används också för att säkerställa en hög kristallin kvalitet hos det ferroelektriska lagret 4. Ferroelektriska lager har vanligtvis en god kristallin kvalitet om tjockleken på filmlagret är liten, speciellt mindre än 1µm. Försök att växa tjockare

epitaxiella filmer leder till en försämring av kristallstrukturen (beroende på att defekter uppstår) och av de dielektriska egenskaperna. Applicering av tunna, vanligtvis mindre än 100 nm, mellanliggande buffertlager med gittermatchade dielektriska lager, av exempelvis MgO , LaAlO_3 , CeO_2 eller liknande, såsom hänvisats till ovan, bidrar till att bevara den kristallina strukturen för det ferroelektriska lagret 4 i den ferroelektriska strukturen. Eftersom tjockleken på det mellanliggande (dielektriska) buffertlagret 3 är liten, påverkar det i praktiken knappast varaktorns kapacitans och avstämbarheten.

Såsom kommer att diskuteras ytterligare nedan, är det möjligt att, istället för att använda en epitaxiell ferroelektrisk trelagersstruktur såsom visat i utförandet i Fig. 2, göra varaktorer som består av ferroelektrisk flerlagerstruktur, exempelvis med ferroelektriska lager av BSTO och ett dielektrika av MgO , med en lägre kapacitans (som kan vara önskvärt ibland) och lägre mikrovågsförluster på bekostnad av lägre avstämbarhet. Också andra flerlagerstrukturer är möjliga, av vilka några kommer att visas nedan.

Det ferroelektriska lagret 2 och ferroelektriskt lager 4 har olika Barium(Ba)-innehåll, och härav olika Curie-temperaturer T_{CR1} och T_{CR2} såsom illustrerats i Fig. 3. Maxima i dielektrisk konstant uppträder för olika temperaturer. Curietemperaturerna för de ferroelektriska lagren 2 och 4 (dvs läget för maximum i dielektrisk konstant) väljes genom att man på rätt sätt väljer ut Ba-innehåll för lagren 2, 4, dvs xi-värdena.

Detta urval görs lämpligen så att det önskade arbetstemperaturområdet för varaktorn ligger mellan Curie-temperaturerna för de ferroelektriska lagren 2 och 4, jämför Fig. 2. Kapacitansen mätt mellan de två elektroderna 9_1 , 9_2 kommer då

att få ett nästan temperaturoberoende värde som kan ses i Fig. 3. Avstämbbarheten för en sådan varaktor kommer att, beroende på de överlappande "svansarna" i dielektrisk konstant för lagren 2 och 4, att bli större än för en varaktor som bara är baserad på exempelvis lager 2 eller lager 4 inom samma temperaturområde.

Därutöver blir det, genom att på lämpligt sätt Ba-dopa de ferroelektriska lagren, dvs genom lämpligt val av x-värdena, möjligt att välja tecken på temperaturkoefficienten för kapacitansen (TCC) i ett givet temperaturområde. Temperaturkoefficienten för kapacitansen ges enligt $TCC = [C(T1) - C(T2)] / C(T1)$; där $C(T1)$ och $C(T2)$ är kapacitansen vid $T1$ respektive $T2$. I Fig. 3 är TCC negativ i området ifrån T_{CR1} till N, positiv i området mellan P till T_{CR2} , och ungefärligen 0 mellan N och P.

Speciellt kan en ferroelektrisk-dielektrisk flerlagerstruktur bestå av flera lager av ferroelektriskt material med olika $x_i:n$, dvs med olika innehåll av exempelvis A-komponenten, t ex Ba eller Na, och olika Curie-temperaturer. Detta ger ett medel för att ännu mera noggrant kunna skräddarsy temperaturberoendet hos varaktorns kapacitans.

I ett utförande, ej visat, består den ferroelektriska strukturen av en flerlagerstruktur som innefattar en ferroelektrisk nanostruktur som innehåller en periodisk stack i form av ultratunna ferroelektriska lager, som har en tjocklek på mindre än 100 nm, och dielektriska lager, vilka är anordnade på ett alternerande sätt. En flerlagerstruktur kan exempelvis bestå av fler än två lager med en total tjocklek på omkring 0.5 μm . Sådana strukturer får utvidgade icke-linjära egenskaper och höga elektriska fält, och således kan en hög avstämbbarhet uppnås också vid applicering av låga spänningar.

I det utförande som illustreras i Fig. 2 är buffertlager 8_1 , 8_2 anordnade mellan elektroderna 9_1 , 9_2 och den ferroelektriska filmen. Andamålet med dessa är att eliminera övergångslager i gränsen såsom diskuterats tidigare i ansökan. Buffertlagren 8_1 , 8_2 kan exempelvis innehålla metallisk magnesium. I en speciell implementering består elektroderna 9_1 , 9_2 av guldelektroder. Genom användningen av buffertlageren 8_1 , 8_2 , bildas ohmska kontakter i gränssnitten mellan ferroelektriskt lager 4 och elektroderna 9_1 , 9_2 . Därför kommer inte några inre elektriska fält att utvecklas i de ferroelektriska lagren. Som ett resultat därav kan den dielektriska konstanten, vid noll yttre biasering, och avstämbarheten, för varaktorn båda hållas höga. Dessa buffertlager är emellertid inte nödvändiga för fungerandet av föreliggande uppfinning, utan de relaterar endast till en fördelaktig implementering. Elektroderna behöver inte heller vara guldelektroder, utan vilket annat lämpligt material som helst kan användas, såsom exempelvis Cu, Ag eller liknande. Dessutom är det möjligt att använda supraledande elektroder, eller ännu mera speciellt högtemperatursupraledande elektroder, t ex av YBCO (Y-Ba-Cu-O). Därutöver, kan istället för Mg, Ti eller liknande metaller användas för buffertlagren för att ge upphov till ohmska kontakter.

Mikrovågsförlusterna blir minimala i det område där TCC är litet, eller speciellt omkring noll, följaktligen kommer varaktorns kvalitetsfaktor att få ett maxvärde. Detta beror på det faktum att förlusterna i de ferroelektriska lagren 2, 4 blir som högst vid Curie-temperaturerna T_{CR1} respektive T_{CR2} , och minskar när man avlägsnar sig ifrån dessa temperaturer, såsom kan ses ur det experimentella prestandat för en varaktoranordning av slaget som diskuterats i Fig. 2, jämför Fig. 4. Denna Fig. 4 relaterar till speciella experimentella resultat vid utnyttjande av BSTO-filmer som ferroelektriska lager 2 respektive 4. I denna speciella

implementering består det ferroelektriska lagret 2 av BSTO med $x_1 = 0.75$, dvs $Ba_{0.75}Sr_{0.25}TiO_3$ och har en tjocklek på $0.4 \mu m$. Det ferroelektriska lagret 4 består av $Ba_{0.25}Sr_{0.75}TiO_3$, och har en tjocklek på $0.4 \mu m$.

5 Det dielektriska lagret 3 består av MgO, och det har en tjocklek på omkring $0.1 \mu m$. Substratlagret 1 består av MgO, och det har en tjocklek på $0.5 \mu m$. Buffertlagren $8_1, 8_2$ består av Mg med en tjocklek på $0.1 \mu m$. Elektroderna $9_1, 9_2$ består av Au, och har en
10 tjocklek på $1.0 \mu m$. Storleken på elektroderna $9_1, 9_2$ är $0.125 \times 0.125 \text{ mm}$, medan bredden på slitsen mellan elektroderna $9_1, 9_2$ är $2.5 \mu m$. I denna implementering har filmerna växts epitaxiellt med användning av laserablation. Elektroderna är framställda genom vakuumförångning följt av fotolitografisk mönstring.

15 Det skall vara klart att detta endast relaterar till ett specifikt utförande, och uppfinningen är givetvis inte begränsad till att epitaxiella filmer är framställda på något speciellt sätt, såsom ett exempel kan liknande epitaxiella filmer också vara
20 framställda genom andra lämpliga teknologier för epitaxiell växt, såsom sputtring, kemisk ångdeponering, osv vilket torde vara känt för fackmannen. I flerlagerstrukturer kan alla mellanliggande buffertlager bestå av samma material, men bufferlagren i en varaktoranordning kan också bestå av olika material.

25 Som ett alternativ till ett mellanliggande buffertlager bestående av MgO, jämför lager 3 i Fig. 2, eller ett material av liknande slag, kan också andra (kristallmatchade) material användas. Ett exempel är WO_3 . Detta är en oxid som har som egenskap att kunna
30 attrahera syre och anrika ferroelektriska lager med syre. Framställning av ferroelektriska lager eller filmer med ett önskat innehåll av syre är svårt. Vanligtvis råder det brist på

syre i ferroelektriska filmer, vilket negativt påverkar de dielektriska egenskaperna för en ferroelektrisk kristall. Således kan de dielektriska egenskaperna ytterligare förbättras genom användning av WO_3 istället för MgO . Detta är givetvis tillämpligt för varje utförande som täcks av föreliggande uppfinning.

Fig. 5 visar en annan varaktoranordning 20 enligt uppfinningen, som innefattar ett substratlager 1A och en ferroelektrisk struktur 12A anordnad på substratlagret 1A. Den ferroelektriska strukturen 12A består av ett första ferroelektriskt lager 2A och ett andra ferroelektriska lager 4A, mellan vilka ett mellanliggande buffertlager 5A är anordnat. Därutöver innefattar den ett ytterligare mellanliggande buffertlager 3A som är anordnat i anslutning till substratlagret 1A, dvs mellan substratlagret 1A och det första ferroelektriska lagret 2A. Såsom i utförandet beskrivet under hänvisning till Fig. 2 är buffertlager $8A_1$, $8A_2$ anordnade mellan det översta ferroelektriska lagret 4A och de longitudinella elektroderna $9A_1$, $9A_2$, mellan vilka elektroder ett gap 11A definieras. De material som används i detta utförande kan vara vilka som helst av de material som diskuterats tidigare i ansökan, i generella termer $ABCO_3$, de mellanliggande buffertlagren kan också vara av de slag som diskuterats ovan, t ex dielektriska lager exempelvis av MgO eller WO_3 eller vilken kombination som helst därav.

25

I en speciell implementering består de dielektriska lagren 3A, 5A av olika material. I en implementering består ett av lagren exempelvis av MgO , eller ett material med liknande egenskaper, medan det andra består av WO_3 . Utöver de egenskaper som diskuterats ovan kan de mellanliggande buffertlagren, t ex de dielektriska lagren, användas för att styra spänningen (tryck eller drag) i de ferroelektriska lagren beroende på vilka deras gitterkonstanter är i förhållande till gitterkonstanten för de

30

angränsande dielektriska lagren. Om exempelvis det ferroelektriska lagret behöver tryckas ihop, skulle gitterkonstanten i det dielektriska lagret vara mindre än gitterkonstanten för ferroelektrikat, i det att man fortfarande iakttar kristallmatchning, och vice versa om det ferroelektriska lagret behöver sträckas.

I Fig. 6 visas återigen ett annat utförande av en varaktoranordning 30 enligt uppfinningen. Liksom i föregående utföranden består den av ett substratlager 1B på vilket en ferroelektrisk lagerstruktur 12B är anordnad. Ovanpå den ferroelektriska lagerstrukturen 12B är elektroder 9B₁, 9B₂ anordnade, och det finns ett gap 11B emellan dem. Företrädesvis är tunna buffertlager 8B₁, 8B₂ anordnade mellan elektroderna och angränsande ferroelektriska lager i den ferroelektriska strukturen 12B. I detta utförande består den ferroelektriska strukturen 12B av tre ferroelektriska lager 2B, 4B, 6B och tre mellanliggande buffertlager 3B, 5B, 7B som företrädesvis är dielektriska. De dielektriska lagren och de ferroelektriska lagren är anordnade på ett alternerande sätt. I ett alternativt utförande (ej visat) finns det inte något mellanliggande buffertlager anordnat mellan substratlagret och påföljande ferroelektriska lager. Företrädesvis har de tre ferroelektriska lagren 2B, 4B, 6B olika xi-värden. Alternativt har två ferroelektriska lager olika xi-värden, medan det tredje ferroelektriska lagret har samma xi-värde som ett av de andra ferroelektriska lagren. Då måste emellertid det mellanliggande ferroelektriska lagret 4B skilja sig ifrån de ferroelektriska lagren 2B, 6B.

I varaktoranordningen 30 kan det dielektriska lagret 5B exempelvis skilja sig kemiskt ifrån de ferroelektriska lagren 3B, 7B, som exempelvis består av MgO för att ta hand om exempelvis spänningar

om lagren 3B, 7B används bara för att attrahera syre, och exempelvis bestå av WO_3 , eller ett material med liknande egenskaper. Givetvis kan också de dielektriska lagren 3B,, 5B, 7B vara likadana. Alternativt kan alla tre vara olika.

5

Fig. 7 visar återigen en annan implementering av en varaktoranordning 40 enligt uppfinningen. Angränsande till substratlayer 1C är en ferroelektrisk struktur 12C anordnad på vilken elektroder 9C₁, 9C₂ är longitudinellt anordnade så att ett longitudinellt gap 11C definieras däremellan. Mellan elektroderna 9C₁, 9C₂ är tunna buffertlayer 8C₁, 8C₂ anordnade, vilka emellertid inte är nödvändiga för fungerandet av föreliggande uppfinning. Den ferroelektriska strukturen 12C innefattar tre ferroelektriska lager 2C, 4C, 6C i likhet med utförandet i Fig. 6. Mellan det understa ferroelektriska lagret 2C och substratlagret 1C, är ett första mellanliggande buffertlayer 3C anordnat. Mellan det första 2C respektive det andra 4C ferroelektriska lagret, är ett andra mellanliggande buffertlayer 5C anordnat, som i detta utförande består av tre dellager 5C₁, 5C₂, 5C₃, dvs det mellanliggande buffertlagret 5C består av en kombination av (olika) dielektriska dellager för att ta hand om spänningen (gittermatchningen) och syreanrikningen på en och samma gång. Det mellanliggande buffertlagret 5C kan exempelvis bestå av ett dellager av MgO som är infört mellan två WO_3 lager 5C₃, 5C₁. Mellan det andra ferroelektriska lagret 4C och det tredje ferroelektriska lagret 6C är ett annat mellanliggande buffertlayer 7C anordnat. Det innefattar här ett enda lager.

I ett alternativt utförande kan mellanliggande buffertlayer som består av ett antal dellager, såsom det mellanliggande buffertlagret 5C, användas mellan alla ferroelektriska lager och/eller mellan substratlagret och påföljande ferroelektriskt

30

lager osv. Vilken kombination som helst är i princip möjlig. Det kan givetvis också bestå av fler än tre dellager osv.

Det skall vara klart att en varaktoranordning enligt föreliggande
5 uppfinning kan anta många olika former, och den kan varieras på ett antal sätt inom ramen för föreliggande uppfinning. Den är inte begränsad till något speciellt antal lager som skall inkluderas i den ferroelektriska strukturen, olika material kan användas i olika kombinationer, och också substratlagret och
10 elektrodstrukturen kan varieras på ett antal sätt, det huvudsakliga är att det finns en ferroelektrisk lagerstruktur som innehåller ferroelektriska och (dielektriska) mellanliggande buffertlager som är anordnade på ett alternerande sätt för att "kemiskt" isolera på varandra följande ferroelektriska lager som
15 har olika Curie-temperaturer, ifrån varandra.

Figurerna 8A, 8B respektive Fig. 9 illustrerar schematiskt två praktiska implementeringar. Fig. 8A är en tvärsnittsvy av ett en-pols (en resonator) avstämbart bandpassfilter 45, där en
20 mikrostripledare 16D är anordnad på ett substrat 15D, så att kopplingsgap 18D tillhandahålles. Ovanpå en halv-våglängds resonator 17D är en varaktoranordning 50 enligt föreliggande uppfinning ansluten genom en så kallad "flip-chip" förbindelse som innehåller "bumps" 13D₁, 13D₂ som är anslutna till
25 elektroder 9D₁, 9D₂ på varaktoranordningen 50 vilken, liksom i föregående utförande, består av en substratlagerstruktur 1D, en ferroelektrisk lagerstruktur 12D och longitudinellt anordnade elektroder 9D₁, 9D₂, mellan vilka och den ferroelektriska lagerstrukturen 12D, också i detta utförande, tunna buffertlager
30 8D₁, 8D₂ är anordnade. I detta utförande innehåller den ferroelektriska lagerstrukturen 12D två ferroelektriska lager och två mellanliggande dielektriska buffertlager. Det ska vara klart att vilken varaktoranordning som helst som faller inom ramen för

föreliggande uppfinning skulle kunna vara ansluten genom en "flip-chip" förbindelse.

5 Fig. 8B är en vy ovanifrån av ett bandpassfilter som i Fig. 8A, och det kan ses hur varaktorn 50 är ansluten till en halv våglängds, $L = \lambda/2$, -resonator anordnad på substrat 15D. När en DC-biaseringskrets (ej illustrerad av enkelhetsskäl) ansluts till varaktoranordningen, med andra ord när en DC-bias appliceras på varaktorn, kommer kapacitansen hos varaktorn att förändras, och
10 således kommer den totala kapacitansen för resonatorn att förändras liksom dess resonansfrekvens.

Fig. 9 visar ett alternativt utförande av ett en-pols (en resonator) avstämbar bandpassfilter 55 med en varaktoranordning
15 60 ansluten därtill med användning av "bonding wires" 13E₁, 13E₂. På ett substrat 15E är en mikrostripledare 16E anordnad så att kopplingsgap 18E bildas. Varaktoranordningen 60 är via bondningsledare 13E₁, 13E₂ förbunden med elektrodena 9E₁, 9E₂ anslutna till respektive resonatorplattor. Varaktoranordningen
20 60, illustreras inte i detalj, eftersom vilken som helst av varaktoranordningarna som diskuterats tidigare kan användas, eller vilken annan varaktoranordning som helst som faller inom ramen för föreliggande uppfinning. Mikrovågs-in- respektive utgången illustreras, och inte heller i detta fall visas DC-biaseringskretsen av enkelhetsskäl. En DC-bias som appliceras på
25 varaktorn 60 förändrar dess kapacitans och således den totala kapacitansen för resonatorn 17E, likväl som den förändrar dess resonansfrekvens.

30 Det skall vara klart att varaktoranordningen kan användas i många andra tillämpningar i olika slag av mikrovågstransmissionsledarapplikationer, filter, resonatorer, slitstransmissionsledare, och generellt i mikrovågs- och millimetervågskretsar,

såsom fasskiftare, fördröjningsledare, blandare, harmoniska generatorer osv.

5 Det skall också vara klart att elektrodstrukturen inte är begränsad till två longitudinellt anordnade elektroder, utan de kan i princip vara av vilken form som helst och de kan vara anordnade i vilket antal som helst. Även om elektroderna för de flesta av de illustrerade anordningarna är överst och substratet underst, skall det uppfinningsmässiga konceptet inte begränsas
10 därtill.

Också i andra avseenden är uppfinningen inte begränsad till de specifikt illustrerade utföringsexemplen, utan den kan varieras på ett antal sätt inom ramen för vidhängande patentkrav.
15

20

25

30

PATENTKRAV

1. En ferroelektrisk tunnfilms-varaktoranordning (10;20;30;40;50;60) innefattande ett substratlager (1;1A;1B;1C;1D;1E;1F), en
5 ferroelektrisk lagerstruktur (12;12A;12B;12C;12D;12E) och en elektrodstruktur (9₁, 9₂; 9A₁, 9A₂; ...; 9E₁, 9E₂);

k ä n n e t e c k n a d d ä r a v

att den ferroelektriska lagerstrukturen (12;12A;12B;12C;12D;12E) består av ett antal ferroelektriska lager (2,4;2A,4A;2B,4B,6B;
10 2C,4C,6C) och ett antal mellanliggande buffertlager (3;3A,5A;3B,5B,7B;3C,5C,7C) anordnade på ett alternerande sätt, och att åtminstone ett första och ett andra av sagda ferroelektriska lager har olika Curie-temperaturer, dvs den dielektriska konstanten för det första ferroelektriska lagret har
15 ett maximum vid en temperatur som skiljer sig ifrån temperaturen vid vilken den dielektriska konstanten för det andra ferroelektriska lagret har ett maximum.

2. En varaktoranordning enligt patentkrav 1,

20 k ä n n e t e c k n a d d ä r a v

att åtminstone sagda första och andra ferroelektriska lager (2,4;2A,4A;2B,4B,6B;2C,4C,6C) är kemiskt isolerade ifrån varandra genom ett mellanliggande buffertlager (3;3A,5A;3B,5B,7B;3C,5C,7C), och att den kemiska elementsammansättningen för de
25 ferroelektriska lagren (2,4;2A,4A;2B,4B,6B;2C,4C,6C) skiljer sig genom att innehållet av åtminstone ett element är olika.

3. En varaktoranordning enligt patentkrav 1 eller 2,

k ä n n e t e c k n a d d ä r a v

30 att åtminstone några av substratlagret (1;1A;1B;1C;1D;1E;1F), lagren i den ferroelektriska lagerstrukturen (12;...;12E), och elektrodstrukturen (9₁, 9₂; ...; 9E₁, 9E₂) har matchande kristallstrukturer.

4. En varaktoranordning enligt patentkrav 3,
k ä n n e t e c k n a d d ä r a v
att alla lager har gittermatchade kristallstrukturer.
- 5 5. En varaktoranordning enligt något av patentkraven 1-4,
k ä n n e t e c k n a d d ä r a v
att lagren i den ferroelektriska lagerstrukturen (12;...;12E) består
av enkristallina (epitaxiella) filmer.
- 10 6. En varaktoranordning enligt något av föregående patentkrav,
k ä n n e t e c k n a d d ä r a v
att de ferroelektriska lagren består av keramiska material.
- 15 7. En varaktoranordning enligt patentkrav 6,
k ä n n e t e c k n a d d ä r a v
att det eller de keramiska materialen består av perovskitska
oxider eller fasta lösningar därav, $ABCO_3$, där A är någon av t ex
Ba, Na, osv, B är någon av t ex Sr, K, osv, C är någon av Ti, Nb,
osv.
- 20 8. En varaktoranordning enligt patentkrav 7,
k ä n n e t e c k n a d d ä r a v
att varje ferroelektriskt lager (2,4;...;2C,4C,6C) (i) har en
respektive elementsammansättning av $Ba_{x_i}Sr_{1-x_i}TiO_3$, där innehållet
25 x_i är olika för åtminstone två ferroelektriska lager för att
åstadkomma olika Curie-temperatur för sagda åtminstone två
ferroelektriska lager.
- 30 9. En varaktoranordning enligt patentkrav 7,
k ä n n e t e c k n a d d ä r a v
att de ferroelektriska lagren (2,4;... ,2C,4C,6C) består av
 $Na_{x_i}K_{1-x_i}NbO_3$, där innehållet x_i skiljer sig för åtminstone två

ferroelektriska lager för att ge upphov till olika Curie-temperaturer.

10. En varaktoranordning enligt patentkrav 8 eller 9,
-5 k ä n n e t e c k n a d d ä r a v
att för åtminstone två, eller åtminstone sagda första och sagda andra, ferroelektriska lager i , $i+1$, är $0 \leq x_i \leq 1; 0 \leq x_{(i+1)} \leq 1$.
- 10 11. En varaktoranordning enligt något av föregående patentkrav,
k ä n n e t e c k n a d d ä r a v
att de mellanliggande buffertlagren (3;3A,5A;3B,5B,7B;3C,5C,7C) består av dielektriska filmer.
- 15 12. En varaktoranordning enligt patentkrav 11,
k ä n n e t e c k n a d d ä r a v
att åtminstone ett av de dielektriska filmlagren har en elementsammansättning bestående av MgO , $LaAlO_3$, CeO_2 eller ett material med liknande egenskaper.
- 20 13. En varaktoranordning enligt patentkrav 11 eller 12,
k ä n n e t e c k n a d d ä r a v
att åtminstone ett av de dielektriska filmlagren består av en elementsammansättning av WO_3 eller ett material med liknande
25 egenskaper.
14. En varaktoranordning enligt något av föregående patentkrav,
k ä n n e t e c k n a d d ä r a v
att åtminstone ett av de mellanliggande bufferlagren (5C) består
30 av en multilagerstruktur som består av ett antal dellager
($5C_1, 5C_2, 5C_3$), där åtminstone ett dellager består av en elementsammansättning av MgO eller liknande, och åtminstone ett dellager består av en elementsammansättning av WO_3 .

15. En varaktoranordning enligt något av föregående patentkrav,
k ä n n e t e c k n a d d ä r a v
att substratlagret (1;...;1E) har en elementsammansättning av MgO,
LaAlO₃ eller ett material med liknande egenskaper, och att
5 elektrodstrukturen består av longitudinellt anordnade elektroder
(9₁, 9₂;...; 9E₁, 9E₂) exempelvis av guld, mellan vilka ett gap
definieras.
16. En varaktoranordning enligt något av föregående patentkrav,
10 k ä n n e t e c k n a d d ä r a v
att de ferroelektriska lagren har en tjocklek som väsentligen är
≤ 1 μm, och att de mellanliggande buffertlagren har en tjocklek
som väsentligen är ≤ 100 nm.
- 15 17. En varaktoranordning enligt något av föregående patentkrav,
k ä n n e t e c k n a d d ä r a v
att den ferroelektriska lagerstrukturen består av en
ferroelektrisk nano-struktur med ultratunna ferroelektriska lager
som har en tjocklek på ungefärligen ≤ 100 nm.
- 20 18. En varaktoranordning enligt något av föregående patentkrav,
k ä n n e t e c k n a d d ä r a v
att i anslutning till elektrodstrukturen ett buffertlager
(8₁, 8₂;...; 8D₁, 8D₂) (t ex av tunna metalliska Mg-filmer) är anordnat.
- 25 19. En varaktoranordning enligt något av föregående patentkrav,
k ä n n e t e c k n a d d ä r a v
att den ferroelektriska lagerstrukturen (12B;12C) består av tre
eller flera ferroelektriska lager.
- 30 20. En varaktoranordning enligt något av föregående patentkrav,
k ä n n e t e c k n a d d ä r a v

att temperaturberoendet hos varaktorn ges av valet av Curie-temperaturer/värden på $x_i/1-x_i$ för ett element i sammansättningen av respektive ferroelektriska lager.

- 5 21. En ferroelektrisk tunnfilms-varaktoranordning (10;20;30;40;50;60) bestående av ett substratlager (1;1A;1B;1C;1D;1E), en ferroelektrisk lagerstruktur och en elektrodstruktur ($9_1, 9_2; \dots; 9E_1, 9E_2$),

k ä n n e t e c k n a d d ä r a v

- 10 att den ferroelektriska lagerstrukturen (12;...;12E) består av ett antal ferroelektriska lager (2,4;2A,4A;2B,4B,6B;2C,4C,6C) och ett antal mellanliggande buffertlager (3;3A,5A;3B,5B,7B;3C,5C,7C), som företrädesvis är dielektriska, att de ferroelektriska lagren och de dielektriska lagren är anordnade på ett alternerande sätt
- 15 så att ferroelektriska lager mellan vilka ett mellanliggande buffertlager är anordnat är kemiskt separerade ifrån varandra, och att de har en olik elementsammansättning, så att temperaturberoendet hos den dielektriska konstanten för respektive lager blir olika.

20

22. En ferroelektrisk tunnfilms-varaktoranordning enligt patentkrav 21,

k ä n n e t e c k n a d d ä r a v

- att de ferroelektriska lagren består av keramiska material, såsom
- 25 perovskitska oxider eller fasta lösningar av typen $A_{x_i}B_{1-x_i}CO_3$, där x_i är olika för åtminstone på varandra följande ferroelektriska lager mellan vilka ett mellanliggande buffertlager är anordnat.

23. En varaktoranordning enligt patentkrav 22,

30 k ä n n e t e c k n a d d ä r a v

att för varje ferroelektriskt lager, i ; $i = 1, \dots, N$; där N är antalet ferroelektriska lager, $0 \leq x_i \leq 1$.

24. En varaktoranordning enligt patentkrav 23,
k ä n n e t e c k n a d d ä r a v
att de ferroelektriska lagren i , $i = 1, \dots, N$; där N är antalet lager,
består av $\text{Ba}_{x_i}\text{Sr}_{1-x_i}\text{TiO}_3$ eller $\text{Na}_{x_i}\text{K}_{1-x_i}\text{NbO}_3$.

-5

25. En varaktoranordning enligt patentkrav 23 eller 24,
k ä n n e t e c k n a d d ä r a v
att alla lager i varaktoranordningen har matchande
kristallstrukturer, och att Curie-temperaturerna för de
10 respektive lagren är olika, där Curie-temperaturerna styr värdet
på x_i , så att temperaturberoendet hos varaktorns kapacitans kan
styras.

26. Användning av ett antal varaktoranordningar enligt något av
15 föregående patentkrav i avstämbara mikrovågs(RF)kretsar, såsom
avstämbara resonatorer, filter, fasskiftare, fördröjningsledare,
blandare, harmoniska generatorer eller liknande.

27. Ett förfarande för att framställa en ferroelektrisk
20 tunnfilms-varaktoranordning bestående av en
substratlagerstruktur, en ferroelektrisk lagerstruktur och en
elektrodstruktur,

k ä n n e t e c k n a t d ä r a v

att det innefattar stegen att:

- 25 - anordna en ferroelektrisk struktur på
substratlagerstrukturen, inkluderande stegen att;
- anordna ett mellanliggande, företrädesvis dielektriskt,
buffertlager mellan vardera av ett antal ferroelektriska
lager,
- 30 - för åtminstone två ferroelektriska lager ($i; i+1$), välja
olika innehåll ($x_i; x(i+1)$) för ett första element i den
respektive elementsammansättningen för lagren ($i; i+1$),

- välja innehållen $(x_i; x(i+1))$ så att de dielektriska konstanterna för de olika lagren får olika Curie-temperaturer, så att det önskade arbetstemperaturområdet för varaktorn kommer att ligga mellan Curie-temperaturerna för de två ferroelektriska lagren;

- anordna elektrodstrukturen på den ferroelektriska lagerstrukturen.

28. Ett förfarande för att driva en ferroelektrisk avstämbar tunnfilms-varaktoranordning framställd enligt förfarandet i krav 27 med användning av en vakuumdeponeringsmetod, företrädesvis laserablation, för att deponera ett antal tunna filmer för att åstadkomma en kristallmatchad struktur, där sagda film består av ett substratlager, en ferroelektrisk lagerstruktur och en elektrodstruktur,

k ä n n e t e c k n a t d ä r a v
att det innefattar stegen att;

- låta varaktoranordningen arbeta i temperaturintervallet mellan Curie-temperaturerna för de åtminstone två ferroelektiska lagren;
- applicera den önskade DC-avstämningsspänningen.

1/7

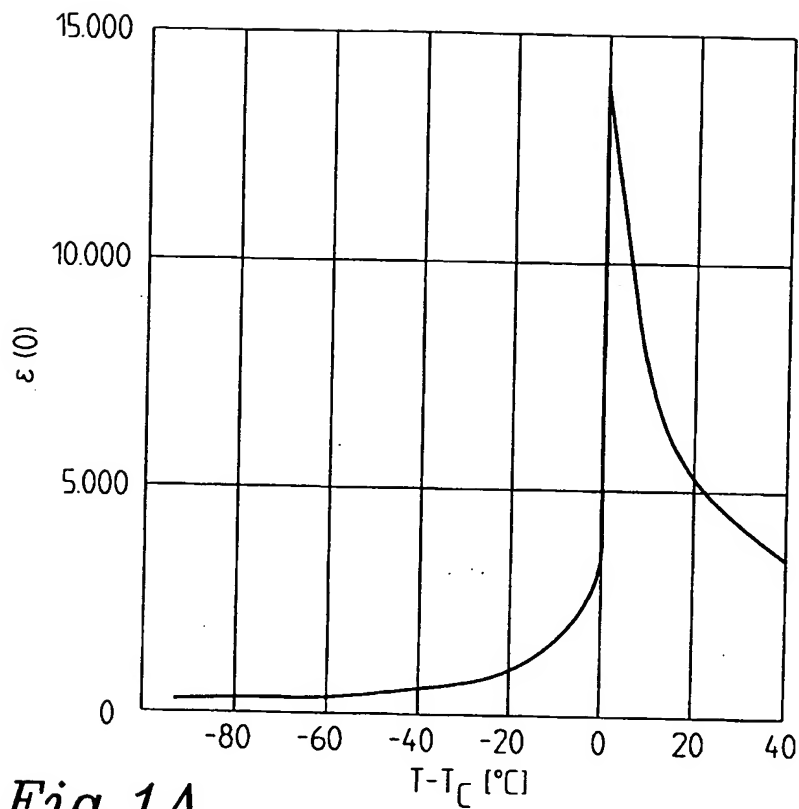


Fig. 1A

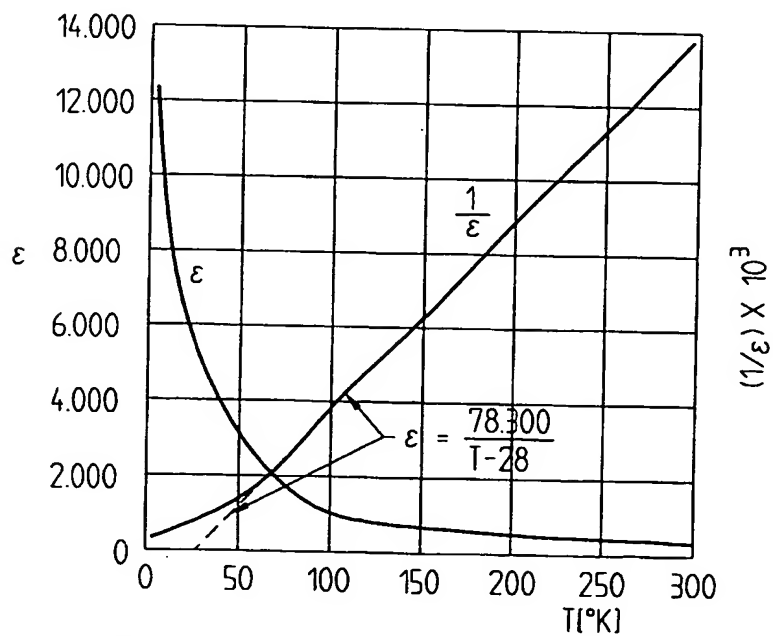


Fig. 1B

2/7

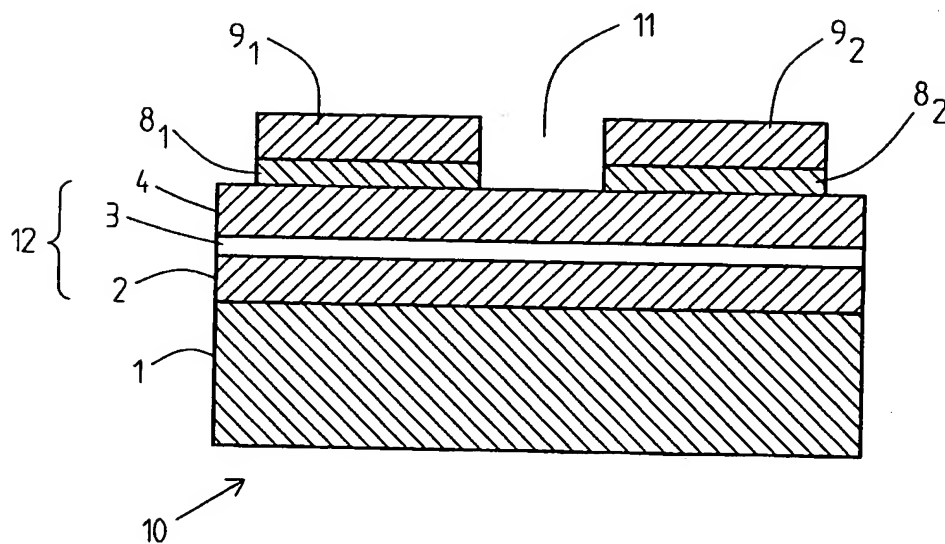


Fig. 2

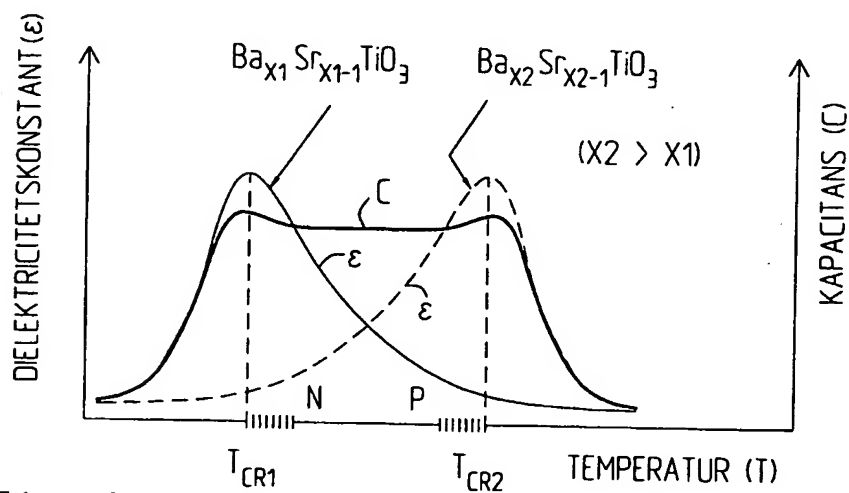


Fig. 3

3/7

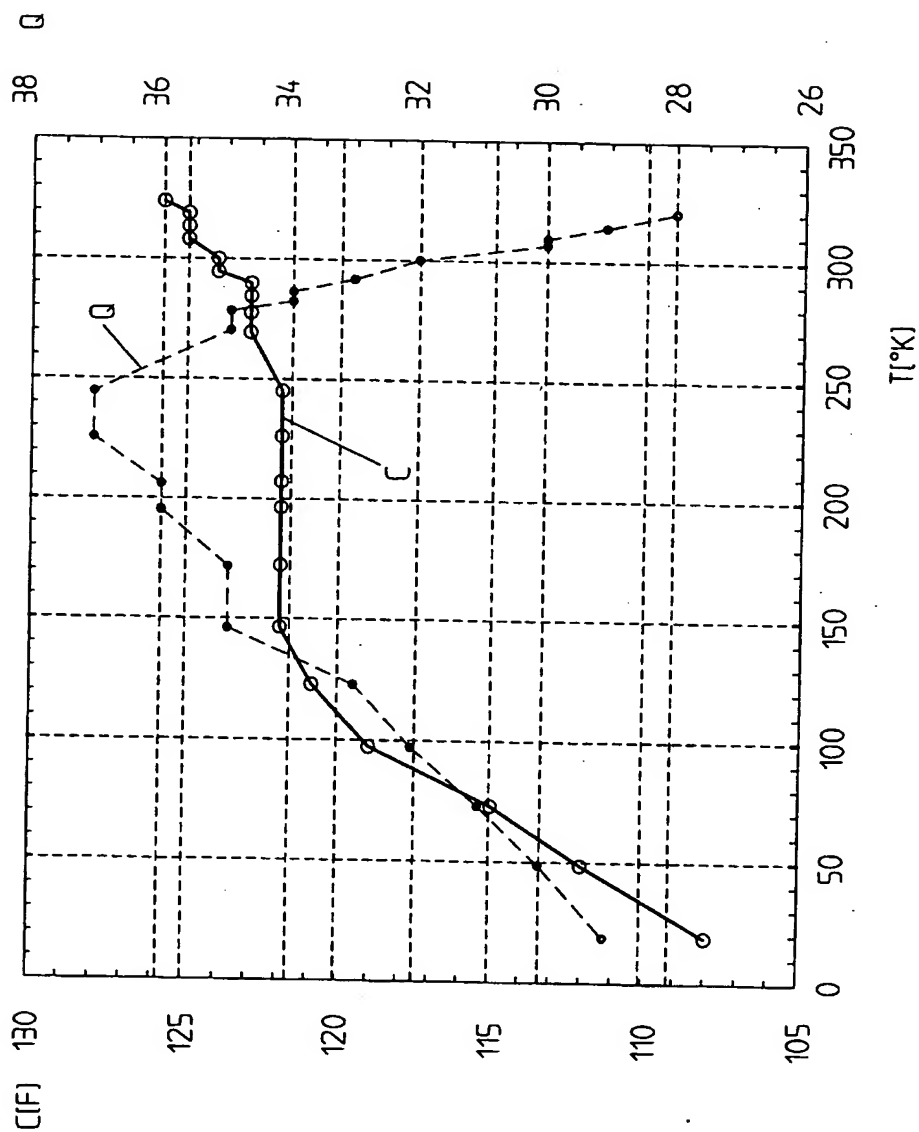
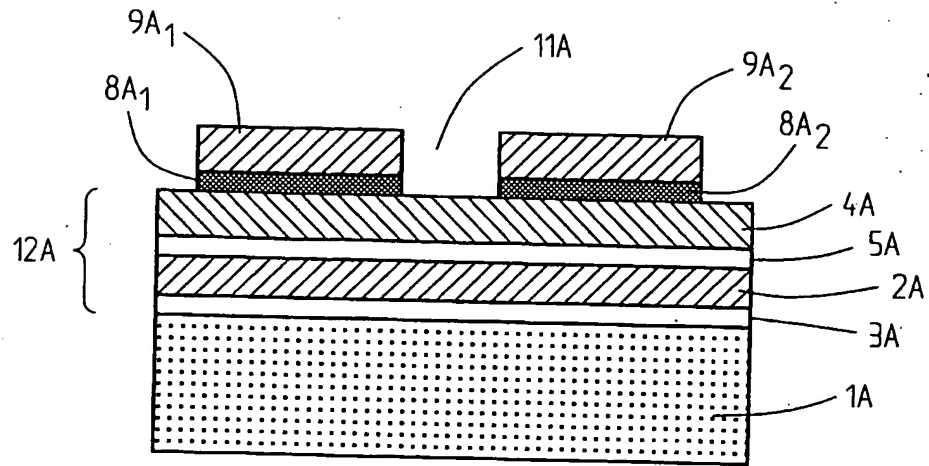
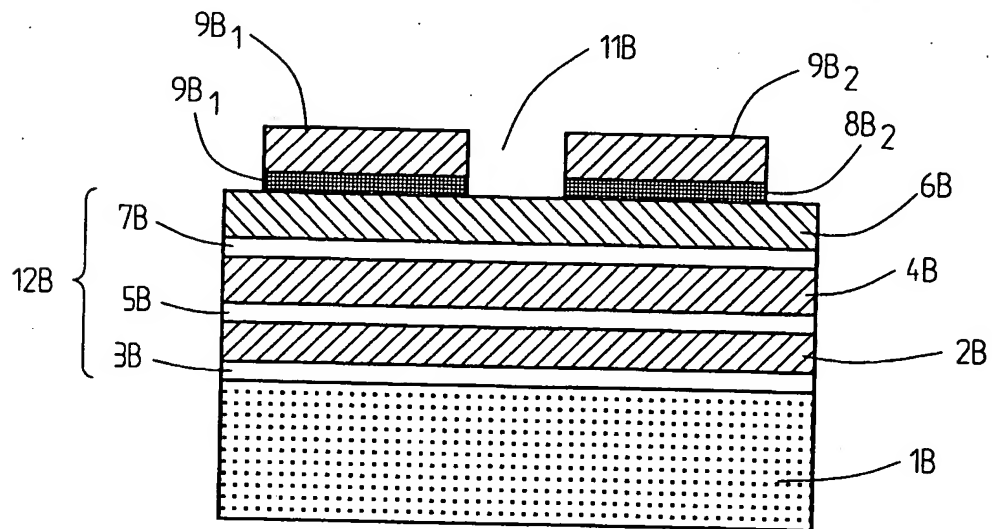


Fig. 4

4/7



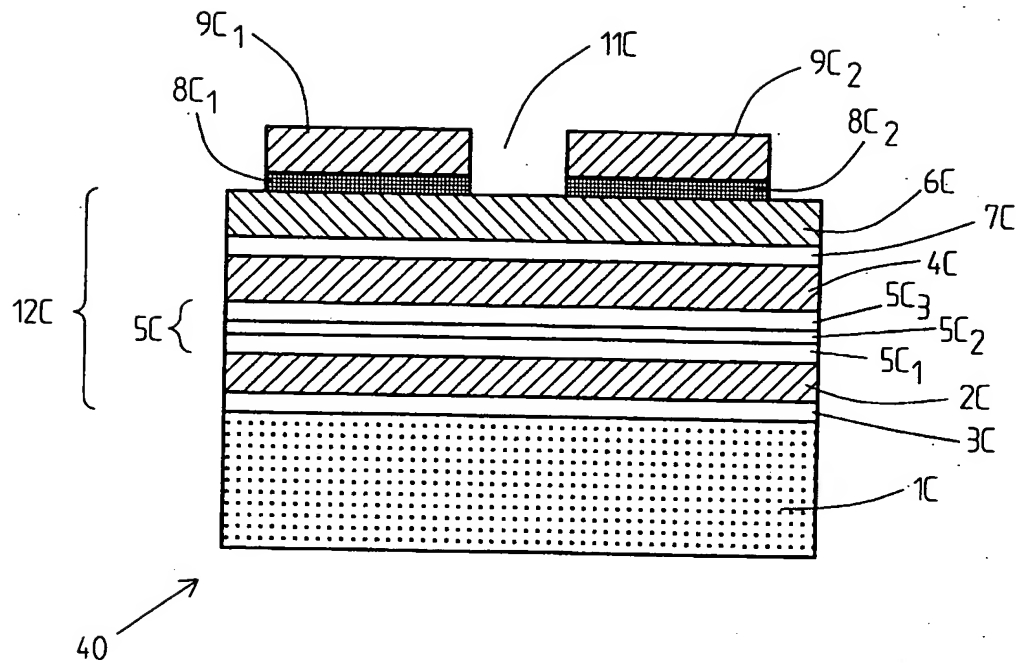
20

Fig. 5

30

Fig. 6

5/7

*Fig. 7*

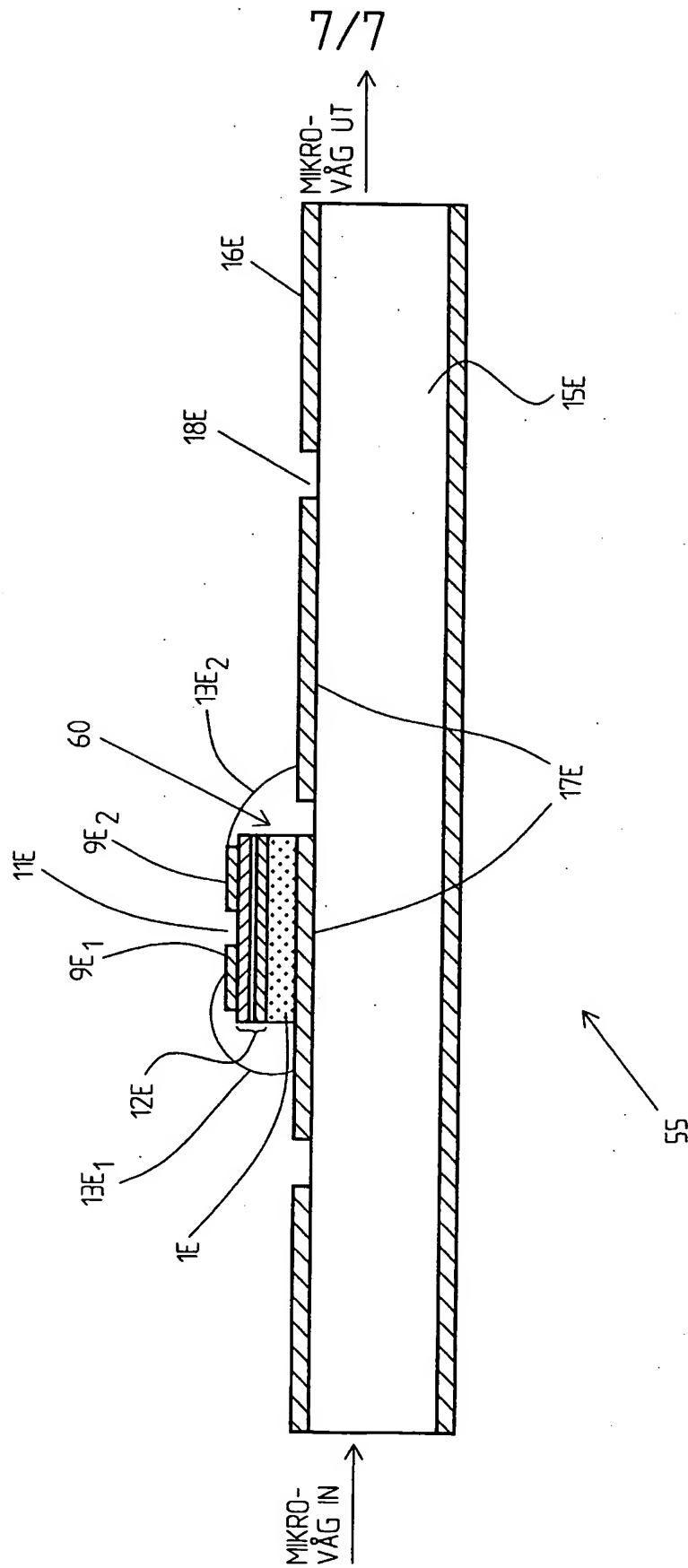


Fig. 9